

# William Froude의 발자취를 따라서

김 은 찬

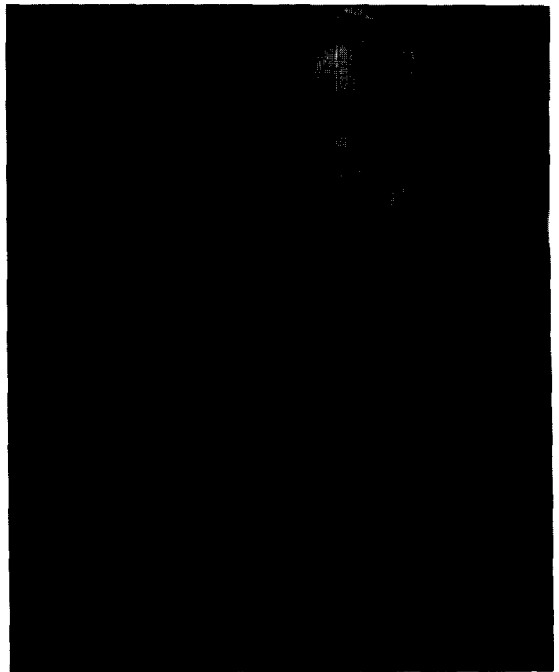
〈해사기술연구소 실장〉

## 1. 서 언

우리는 흔히 William Froude(1810~1879) 〈사진〉를 현대적 시험수조의 창시자라고 부르고 있다. 그는 19세기 영국의 조선공학자로서 비교법칙을 정립하고, 예인식 시험수조를 지어 정확한 모형시험을 처음 수행함으로써 시험수조의 역할을 확립한 사람이다. 필자는 조선공학에 입문하여, 줄곧 시험수조에서 저항추진을 연구한 입장에서 이 대선배에 대한 관심이 지대할 수 밖에 없었으며, 마침 영국에 잠시 체류하면서 그에 대한 많은 자료들을 접할 기회를 가지게 되었다. W. Froude의 생활, 당시의 기술 현황, 그가 고민하며 찾아나간 실험 및 해석 기법 그리고 현재 해석법과의 연관등을 설레이는 마음으로 찾아나섰었다. 백년전의 감동을 여러분들과 함께 맛보고자 이 소고의 작성을 시작한다.

## 2. W. Froude 이전의 기술

17세기 까지만 하더라도 선형설계는 과학적 기술과는 관련이 거의 없는 하나의 미적 예술로 간주되었으며, 배의 저항이란 이러한 예술의 부수적인 한 단면으로 받아들여졌다. 18세기 부터 Newton(1643~1727), Euler(1707~1783), Bernoulli(1700~1790) 등이 평판, 곡면판, 쇠기, 피라밋 등 단순한 형태의 물체가 받는 저항을 이론적, 실험적으로 연구하기 시작하였다. 1775년 경 프랑



스에서는 d'Alembert, Condorcet, Bossut 등이 여러가지 형상의 모형선의 저항특성에 대한 비교 실험을 수행하였는데, 그들은 모형선에 묶인 줄을 수조반대편의 도르래에 걸고, 여러가지 무게의 추를 달아 그 중력에 의한 모형선의 속도를 측정하였다. 이러한 실험을 통해 배의 저항은 대개 속도의 제곱에 비례하여 증가하며, 고속에서는 그 비율이 더 커지는 것을 발견하였다. 1796년부터 1798년사이에 Beaufoy는 일련의 실험을 통해

표면마찰 저항식을 얻어내었는데 그 변화율은 속도의 제곱 보다 작다는 것을 찾아내었다.

이렇게 프랑스에서 시작된 선형 연구는 19세기에 접어들면서 유럽 각국으로 퍼져나갔고, 드디어 그 주류가 영국으로 이어지게 되었다. 1806년 스웨덴의 선박 건조자로 유명한 Chapman은 정교한 경험적 방법으로 실선의 저항을 평가하는 방법을 고안하였다. 영국 스코틀랜드 글래스고우 출신의 Scott Russell(1808~1882)은 1842년에 Wave-line 개념을 발표하여 많은 배의 선수를 낯선하게 설게하였다. 또한 그는 많은 모형시험을 수행하고 그 결과를 실선에 적용하였으나, 대부분의 결과가 실제와는 다르게 나타나곤 하여 모형시험을 불신하게 되었고, 이로 인하여 나중에 W. Froude와는 반대되는 입장에 서게 되었다. 그는 영국조선학회의 창립 멤버로서 영향력이 컸으므로 그의 반대는 W. Froude에게는 견디기 어려운 것이었다. 그때까지 다음과 같은 두가지 이유 때문에 모형시험 결과가 불신을 받고 있었다. 즉, 하나는 모형선이 실선보다 상대적으로 큰 파도를 일으킨다는 점이고, 다음은 물의 점성이 모형선에서 실제 배와는 다르게 작용한다는 점이다. 물론 그 당시는 점성(viscosity)라 부르지 않고 강성률(rigidity)이라 불렀다.

### 3. W. Froude의 유년시절

W. Froude는 1810년에 영국 남서부 Devon 주의 Dartington이라는 마을에서 영국국교회(성공회) 목사인 Robert Hurrell Froude와 학자집안의 딸인 Margaret 사이에서 태어났다. 그의 아버지는 지주의 막내아들로 태어난 재산가로서 평탄하게 자라 옥스포드 대학을 나와 목사가 되었고, 목사로서의 생활 뿐만 아니라 농사를 짓고 사냥을 하며 지방 행정에도 관여하는 등 평범한 삶을 함께 살아나갔다.

한편 그의 어머니는 영국 잉글랜드 북서부 호수 지방의 한 도시인 Keswick에서 유명한 학자 집안의 6남매 중 하나로 태어났다. 이곳은 잉글랜드 가운데 가장 아름답다고 하는 곳으로 워즈워드 등 많은 예술가들이 꿈을 키우던 곳이다. 그녀는

병약하였으나 아름다운 마음을 가졌고, 남편에게는 부족했던 재능과 통찰력을 가진 여인이었다. 그녀는 28세되는 1802년에 결혼하여 8남매를 낳았는데, 첫째인 Richard Hurrell Froude는 29세에, 여섯째 William Froude는 36세에, 막내 James Anthony Froude는 44세에 낳았다. 그리고 47세를 일기로 생을 마칠 때까지 자녀들이 꿈을 키워 나가는데 많은 영향을 미쳤다.

형제들 가운데 장남 R.H. Froude는 옥스포드 대학 출신으로 그곳 교수로 있으면서 영국국교회의 개혁운동인 옥스포드 운동을 시작한 사람이다. 막내 James Anthony는 유명한 역사가로 잘 알려진 인물이다. W. Froude와 더불어 이 세 형제는 나란히 대영백과사전의 한페이지를 장식하고 있다.

### 4. 조선공학에의 입문

W. Froude는 어린 시절을 Dart 계곡을 다니며 물과 항해의 꿈을 키우며 자랐다.

그는 유년시절을 Dartington에서 보내고, 런던의 Westminster School을 나온 뒤, 18세부터 Oxford의 Oriel College에서 공부하였다. 그곳에서 만형 밑에서 공부한 적도 있는데, 초기의 학교 성적은 부진하였으나 나중에는 수학 등에서 두각을 나타내었다. 1837년 27세 되던 해 그는 토목기사가 되어, 엔지니어인 Isambard Kingdom Brunel(1806~1859) 밑에 들어가 일을 하기 시작하였다. Brunel은 그 당시 명성을 날리던 엔지니어로서 철도 건설은 물론 교량 건설, 선박 건조 등 다방면에 실적을 남긴 사람이다. Brunel은 1838년 최초의 대서양 횡단 정기선인 Great Western호, 1843년에 최초의 프로펠러 추진 철선인 Great Britain호, 1859년에 19세기 최대의 선박 Great Eastern호를 건조한 사람이다.

W. Froude가 처음 맡은 일은 Bristol에서 Exeter 까지의 철도 건설이었다. 이 일을 마친 후, 1844년부터는 Exeter로부터 Plymouth까지의 철도 건설에 참여하였는데, 이 철도는 레일 사이에 흡입관을 이용하는 새로운 견인 방식을 채택하였다. 그러나 이 방식은 실패하여, 1848년 계획이

취소되었다. 이러한 이유때문인지는 확실치 않으나 W. Froude는 36세 되던 1846년 그의 일을 그만두고 고향으로 내려와 그의 아버지와 함께 목사관에서 지내게 되었다. 그는 29세 되던 해 Katherine Holdsworth와 결혼하여 다섯아이를 두었는데 고향으로 내려온 해에 낳은 셋째아들 Robert Edmund Froude(1846~1924)는 그를 도와 시험수조와 관련된 많은 일을 하였고, 나중에 시험수조의 후임을 맡게 되었다.

얼마후 그는 다시 Brunel과 합류하게 되었다. 이번엔 스크류 프로펠러가 달린 배에 대한 일련의 실험을 영국 해군성으로부터 받아 수행하는 것이었다. 40세 경에 그는 그가 살고 있는 고향집 부근의 Dart강과 어머니의 고향 부근의 Bassetthwaite 호수에서 모형선 실험을 하였다. 그는 이때 배의 저항에 대한 법칙을 구상하게 되었다고 한다. 그는 그가 직접 만든 태엽으로 프로펠러를 돌리며 저항하는 작은 모형선을 갖고 실험하였는데, 이 사실만 보아도 그렇게 정밀한 기구를 설계해 내는 그의 천부적인 소질과 양철과 납땀을 쉽게 다룰 수 있는 손재간을 알 수 있다.

한편, W. Froude가 Brunel로부터 받은 일종의 하나는 1860년 경에 Great Eastern호의 저항시험과 횡요시험을 수행하는 것이었다. 그는 이 배에 승선하여 횡요 등을 조사하였고, 이를 토대로 빌지키일을 처음 고안하여 나중에 실제로 적용한 바 있다. 그가 50세 되던 1860년에 영국조선학회(The Institution of Naval Architects: INA)가 발족하였는데, 이를 통하여 그가 그동안 연구하였던 배의 횡요와 빌지키일의 적용에 관한 논문을 몇차례 발표하여 조선학계에 발을 들여 놓게 되었다. 그가 1861년에 처음 논문을 발표할 때 사람들은 토목기사 출신의 문외한에 대해 놀라움을 금치 못했다고 한다.

## 5. 비교법칙과 저항성분 분리

W. Froude가 어려서부터 살던 Dartington은 Plymouth에서 20마일, Torquay에서 10마일 떨어진 중간지점으로 Dart 강 상류에 있는 아주 작은 마을이다. Plymouth는 청교도들이 아메리카 대륙

을 향해 메이플라워 호를 타고 출항했던 곳으로 유명하다. 그는 Torquay에 넓은 땅을 임차하여 이사를 갔고, 여기에 증력식 수조를 지어 모형시험을 수행하기 시작하였다. 그리고 그는 집에서 5마일쯤 떨어진 Dart 강 어귀에서 그의 연구의 방향을 가름해준 중요한 실험을 하였는데, 이는 두개의 선형을 택하여 각각 세가지 축척비의 모형선을 제작하여 실험을 한 것이다. 이때의 실험은 완벽하지는 않았으나 훗날 그의 비교법칙을 완성하는데 기초가 되었다고 한다. 확실하지는 않으나, 1860년대초 그는 Torquay의 수도관 일을 보면서 유체의 마찰현상을 주의깊게 관찰할 기회가 있었다고 한다. 이때 그는 움직이는 물체 표면에 물이 따라온다는 생각을 하게 되었다. 그리고 몇년 후, 그가 57세 되는 1867년에 다시 두가지 선형, 세가지 축척비의 모형선 예인 시험을 정밀하게 수행하여 다음과 같은 비교법칙을 완성하였다. 이 비교법칙은 “기하학적으로 상사한 실선과 모형선에서 속도가 치수의 제곱근에 비례한다면, 잉여저항은 치수의 세제곱에 비례한다”라는 것이다. 따라서 모형시험으로부터 얻은 파운드 단위로 나타낸 전체 저항에서 모형선과 길이와 평균폭이 같은 평판의 마찰저항을 빼준 후, 치수의 세제곱을 곱해주고, 다시 실선의 마찰저항을 더해줌으로써 실선 저항을 추정할 것을 제안하였다. 사실 이와 같은 비교법칙은 W. Froude에 앞서 1832년 프랑스 해군의 조선 기사 Reech가 발표한 바 있다. 따라서 후자는 Reech-Froude 법칙으로 불려야한다고 까지 하고 있으나, Reech는 이 법칙을 실제적인 배의 저항 추정까지 발전시키지 못했으므로, 모든 업적은 W. Froude로 기울게 되었다.

## 6. 시험수조 건설

W. Froude가 58세 되던 1868년 4월 그는 재래식 예인수조에 한계를 느껴 새로운 방식의 예인수조 건설을 계획하고, 재원 마련을 위해 영국 해군의 수석 감독관인 Mr. Reed 에게 시험수조 건설과 일련의 실험에 대한 계획을 제안하였다. 그해 12월 이에 대한 상세 계획서를 제출하였는데 이

계획서에는 비교법칙과 대응속도 그리고 저항성분의 분리와 실선 저항성능 추정 방법까지 포함되어 있다.

그의 계획서가 심의중에 있을 때 British Association for the Advancement of Science는 The Stability, Propulsion and Sea-Going Qualities를 연구하기 위한 특별위원회를 만들었다. 이 위원회는 저항을 포함한 선박설계의 발전방향과 함께 잔잔한 해역에서의 실선 예인시험을하기로 결정하였다. W. Froude는 이 위원회의 한사람으로서 실선 예인시험 수행은 동의하나 장기적으로 볼 때 보다 내실있는 결과를 위해서는 모형시험이 더 필요하다고 주장하였고, 1869년 비공식 보고서를 제출하여 정밀한 모형시험의 수행을 제안하였다. 이 보고서는 시험수조의 기능과 필요성을 논리적으로 잘 정리한 기념비적인 문서로 알려져 있다. 그러나 위원회는 정밀한 실선시험이 보다 더 중요하다고 결론짓고 모형시험은 해군측의 지원을 받을 것을 권장해 주는 선에서 결말을 지었다.

다행히도 해군은 1870년 2월 수조 건설 및 2년간의 운영비조로 2000파운드를 지원하기로 결정하였다. W. Froude가 60세 되던해였다. 1870년 6월 어려운 상황에서 Torquay에 있는 W. Froude의 집 옆에 수조 건설을 시작하여 다음해 수조가 완성되었으며, 첫 모형시험은 1872년 4월에 수행하였다. 사실 그 2000파운드는 사업내용에 비해 턱도 없이 적은 돈이었으나, W. Froude와 그 아들이 장비들을 직접 만드는 등 헌신적 노력으로 열매를 맺게 되었다. W. Froude는 이때부터 이를 Experiment Tank(시험수조)라 부르기 시작하였다. 이 수조에는 기계식 예인차가 있었고, 수조의 길이는 278ft, 수면에서의 폭은 36ft, 중심선에서의 깊이는 10ft이었다.

이 Torquay 시험수조는 부지에 대한 임차기간이 끝나 수조를 폐쇄하고 Haslar에 새 수조를 건설하게 되는 1886년까지 15년동안 그 역할을 계속하였다.

## 7. 연구실적

수조 건설 후 첫번째로 모형시험을 수행한 배는 그 유명한 Greyhound호이다. 모형선은 1/16 모형이었는데 처음에는 그 표면에 니스칠을 하여 실험을 하였으나, 나중에는 표면에 형걸을 붙임으로써 실선과 일치되는 결과를 얻었다. 아울러 그가 중심이 되어 해군 지원으로 실선 예인시험을 수행하였는데, 이 실험은 길이 172.5ft의 Greyhound호를 이보다 큰 배인 H.M.S.호가 끌면서 그 힘을 계측하는 실험이었다. 이 실선 실험은 바람, 조류, 수심, 속도 계측 등을 정확히 계측한 것으로 실선 시운전의 고전이라 불리울 정도로 의미있는 계측이었으며, 실선의 마찰계수를 얻고 비교법칙을 확인하는 좋은 기회가 되었다. 이 Greyhound호는 나무로 만들고 그위에 동판을 씌운 배였다. 일련의 모형시험과 실선시험의 결과는 1874년 영국조선학회에 발표되었다.

W. Froude가 모형선 저항시험을 하면서, 함께 해결해야 했던 것은 마찰저항을 아는 일이었다. 그는 이 수조에서 평판에 대한 예인시험을 통해 여러가지 경우의 마찰저항 값을 얻어 1872년 1874년 두차례에 걸쳐 British Association for the Advancement of Science에 보고하였다. 그가 처음 평판 예인시험을 하면서 변수로 삼았던 것은 전진속도, 표면 거칠기 상태, 평판길이의 세가지이었다. 물론 그때만 하더라도 Osborne Reynolds (1842~1912)가 레이놀드 수를 발표(1883)하기 이전으로서 동점성계수는 고려하지 않았었다. 평판의 길이는 1, 1.5, 2.5, 5, 16, 28, 50ft 길이였고, 폭은 19in, 두께는 3/16in로 동일하였다. 판의 전후는 금속으로 만들었고 한쪽 옆에는 납판으로 용골을 만들었다. 수조에서의 예인은 옆으로 세워서 하였고 평판 상부와 수면간의 침수깊이는 1.5in이었다. 최대 예인속도는 짧은 평판의 경우 820ft/min(=4.17m/s), 긴 평판의 경우 650ft/min(=3.30m/s)이었다. 표면 거칠기는 수치화된 계수로 표시하지 않고 재질의 종류로 구분하였는데 니스칠, 파라핀 왁스, 양철, 형걸 및 세가지 종류의 모래 표면에 대해 실험을 하였다. 두번째 보고서에서는 평판마찰저항을 수식으로 만들어 발표하

었다. 그는 실험을 수행한 것보다 긴 배의 마찰저항 값은 Greyhound호의 실선시험 결과로부터 얻은 값을 사용하였다.

그는 새로운 시험수조에서도 많은 실험을 수행하였을 것으로 추측되지만, 많은 일들이 해군에 관련된 일이라 일반에 공개가 안되어, 안타깝게도 우리는 그 일부분 만을 접하고 있다고 본다. 모형시험 외에도 그는 계속하여 배의 조파저항과 선수미 간섭에 대한 연구와 횡요에 대한 연구를 수행하여 영국조선학회지에 발표하였다. 아울러 그는 그가 설계한 각종 동력계, 기록계 나아가 모형선삭성기 등을 여러 학회지에 게재하였다.

그의 연구업적은 크게 네가지로 구분할 수 있다. 첫째는 잘 알려진 바와 같이 오랜 기간동안 비교법칙을 정립하고 이에 따른 실험 기법을 찾아내었으며 현대적 개념의 수조를 건설한 것을 꼽을 수 있다. 다음으로 그는 1860년대 초부터 횡요에 대하여 연구하고 빌지키일을 처음 고안해 내는 성과를 거두었다. 세번째로 1877년에 영국조선학회에 발표한 논문을 통해 선수 선미의 간섭이 조파저항 생성에 미치는 효과를 밝히는 등 이 분야의 기본적인 연구를 계속해 온 것을 들 수 있다. 마지막으로 그는 프로펠러 Blade Element Theory의 창시자로 알려져 있으며 프로펠러에 대한 마지막 논문은 1878년 그가 죽기 일년전에 나왔다.

W. Froude는 1879년 69세 되던 해, 건강이 나빠져서 요양차 남아프리카 공화국에 갔다가 5월 4일 그곳에서 영면하였다.

W. Froude의 연구 업적에 대한 재평가는 1951년 미국 Washington에서 열렸던 제6차 ITTC에서 시작되었다. ITTC의 제의에 따라 영국조선학회는 기념사업을 벌여 1955년에 Torquay의 시험수조 자리에 기념비를 세우고, 같은 해 그의 논문등을 모아 기념집을 만들었다.

## 8. W. Froude 이후의 기술

W. Froude 이후 다행히도 그의 아들 R.E. Froude가 그 일을 이어 받아 완성해 나감으로서 시험수조의 역할은 자리를 잡게 되었다. 한편

W. Froude가 현대적 수조를 처음 만든 직후 1873년 네델란드 해군은 암스텔담의 해군 영내에 수조를 만들고 군용선박은 물론 국내외의 일반선박에 대한 모형시험도 많이 수행하였다. 미국에서 해군사관학교를 나온 D.W. Taylor(1864~1940)는 1885년부터 영국 Royal Naval College에서 공부하면서 W. Froude의 연구업적을 대하게 되었다. 그는 미국으로 돌아가서 워싱턴의 해군 공창안에 길이 470ft의 시험수조를 지어 1900년부터 실험을 시작하였다. 이와같이 시험수조의 필요성이 입증되자, 각국에서 다투어 수조를 건설하게 되어, 1900년 경에는 그 숫자가 10여개로 늘어나게 되었다.

W. Froude가 평판의 마찰저항을 계측한 것은 1872년이며, Reynolds가 파이프 내의 유체흐름을 통해 마찰저항의 상사법칙을 처음 밝힌 것은 그 11년 후인 1883년이다. 이 둘은 모두 영국조선학회 회원이었고, 공히 마찰저항을 연구하였으나 두 연구의 접목은 이루어지지 않았다. 그 이후 몇몇 사람들이 파이프내의 문제를 평판의 문제로 확대시켜 다룬 바 있으나, 모두들 그 유용성을 깨닫지 못한채, Froude의 단순한 마찰저항식을 불편없이 받아들이고 있었다. 배의 크기가 커지고 새로운 선형이 등장하면서 마찰저항의 추정이 보다 어려워지게 되었으므로 새로운 방식의 실선의 마찰저항 추정이 필요로 하게 되었다. E.V. Telfer 박사는 1927년부터 Froude 수에 맞는 모형시험 결과에 Reynolds 수에 따른 마찰저항을 더해 주는 방법을 제시함으로써 모형시험 결과 해석에 새 장을 열어주었다.

1932년 미국의 Schoenherr는 신뢰성있는 평판 마찰곡선을 얻기 위해 다방면의 자료를 모으고 실험을 수행하여 그 유명한 Schoenherr 곡선을 발표하였다.

1933년 "International Conference of Ship Tank Superintendents"라는 이름으로 시작된 시험수조 관련 연구원들의 회합인 ITTC는 모형시험 결과를 실선의 값으로 어떻게 확장시켜 주느냐 하는 문제를 계속 다루어 오다가 1957년 8차 ITTC에서 평판마찰 곡선으로서 G. Hughes의 식을 약간 수정하여 "ITTC 1957 모형선-실선 상관곡선"을

채택하였다. G. Hughes는 1954년 영국조선학회에 한 논문을 발표하였는데, 여기서 그는 앞에서 언급한 평판마찰곡선 외에 형상계수를 이용하는 3차원 해석법을 제시하여 해석법이 또 한번의 전환기를 맞이하였다. 1966년 C.W. Prohaska는 3차원 해석법에서 쉽게 형상계수를 찾을 수 있는 방법을 제시하였다. 한편 ITTC에서는 모두가 함께 사용할 수 있는 합리적인 해석법을 연구해 오다 1978년 15차 ITTC에서 드디어 3차원 해석법과 ITTC 1957 곡선을 근간으로 한 “1978 ITTC Performance Prediction Method for Single Screw Ship”을 만들어 채택하였다.

이 연구의 흐름들 가운데 R.E. Froude와 Telfer의 연구에 대해서는 잘 알려져 있지 않으므로 이들에 대하여 다시 한번 짚어본 후 이 소고를 마치고자 한다.

## 9. R.E. Froude와 기술 정립

Robert Edmund Froude(1946~1924)는 아버지의 뒤를 이어 시험수조의 책임자가 되었다. 그는 수조 건설 때부터 아버지를 도와 많은 일을 해왔고, 아직 이분야에 대한 일반인의 이해가 생소하던 때라 그 아들이로의 계승은 당연한 것으로 받아들여졌다.

R.E. Froude는 아버지의 유업을 이어받아 7년 동안 Torquay 수조를 맡았고, Haslar에 새 수조를 짓고 옮긴 이후에도 연구를 계속하여 명실공히 Haslar 수조 시절의 주인공이 되었다. 1881년 그는 첫 논문을 영국조선학회에 발표하였다. 이는 그의 아버지가 1877년에 발표한 선수미 간섭에 따른 조파저항 연구에서 이어진 것이었다. 영국조선학회를 통해 1883년에는 프로펠러 단독시험과 선후시험을 통해 추진계수를 구하는 방안을 발표하였고, 1886년에는 프로펠러 설계자료를 이용하는 방안을 제시하였다. 이어서 1888년에는 처음으로 모형시험 결과를  $C \sim K$  계수로 무차원화하여 나타낼 것을 제안함으로써 자료 정리 및 선형 비교가 진일보하게 되었다. 그의 논문 발표는 1911년까지 계속되었다.

## 10. E.V. Telfer와 상사법칙의 완성

많은 사람들이 E.V. Telfer(연대미상)를 모형시험 자료 분석의 귀재라고 부르고 있다. 그는 처음으로 Froude 법칙과 Reynolds 법칙을 공히 만족시키는 해석법을 찾아내었다. Telfer는 뉴카슬 대학에서 박사학위를 마치고 터어키의 이스탄불 대학의 교수로 갔다가 다시 노르웨이의 트로헤임 대학으로 자리를 옮겼다. 그는 자신이 직접 실험을 수행한 것은 거의 없이 기존의 자료들을 재해석하여 훌륭한 결과를 도출해내곤 하였다.

이에 대한 첫 시도로서 Telfer는 1927년에 선형은 같으나 축척비가 서로 다른 몇척의 모형시험을 통해 실선마찰저항값 없이 실선 성능을 추정하는 방법을 영국조선학회에 발표하였다. 이는 서너척의 모형시험 결과를  $(Rn^{-1/3}) - (R/\rho AV^2)$ 의 도표로 표시한 후 한 속도에 대해 축척비별 대응속도를 직선으로 연결하여 이를 실선의 Reynolds 수에 까지 확장하고, 다른 속도들에 대해서 동일 방법으로 확장하여 실선에 대한 저항곡선을 만든다는 착상이다. 즉 마찰저항 계수를  $(Rn^{-1/3})$ 의 일차함수로 가정한 것이다. 이 논문에 대해 새로운 착안과 발전성은 높이 평가되었으나, 실제로 적용하기에는 비용이 많이 들고,  $(Rn^{-1/3})$ 를 사용한 것이 잘못되었다는 비평도 있었다. Telfer는 1929년에 비슷한 제목으로 두번째 논문을 발표하였는데 이는 영국조선학회가 아니고 North East Coast Institution of Engineers & Shipbuilders(NECI)였다. 이 논문에서 그는 파이프 내의 마찰실험 결과로부터 평판의 마찰저항계수를 도출하였고, 이를 이용하여, 한척의 저항시험 값으로부터 실선의 값을 추정하는 방법의 문을 열게되었다.

즉 Telfer가 오늘날의 모형시험 해석법에 끼친 영향을 보면, 저항을  $\rho AV^2$ 로 무차원화 하였다는 점과, 이렇게 무차원화 시킨 저항계수를 Reynolds 수를 횡축으로 한 도표 위에 놓고 해석함으로써 Frouded와 Reynolds의 두가지 상사조건을 모두 만족시켰다는 점을 들 수 있다.

## 11. 후 기

L. Troost는 1954년 ISP Vol.1, No.1의 한 논문 서두에서 Lucy Ashton호의 실선과 모형선에 대한 방대한 실험을 수행하고, 이를 공개해준 영국 BSRA에 대해 전세계의 조선인들은 빛을 지고 있다고 기술하였다. 역시 빛진 마음으로, 지난 한세기 동안 W. Froude를 비롯한 많은 선배들이 세운 공적을 돌아보며 몇일을 지냈다. 그리고, 오늘 아침 신문 기사 “일본기업-정보로 경쟁 이겼다”를 보며 냉혹한 현실로 돌아와다. 관련 연구의 흐름을 안내해 준 뉴카슬 대학의 R.L. Townsin 교수에게 감사를 드린다.

## 참 고 문 헌

- [1] Froude, W., The Papers of William Froude 1810~1879, The Institution of Naval Architects, London, 1955.
- [2] Barnaby, K.C., An Historical Survey of the Institution's Transactions and Activities over 100 Years, The Royal Institution of Naval Architects, London, 1960.
- [3] Van Lammern, W.P.A. Resistance, propulsion and Steering of Ships, The Technical Publishing Company, Netherlands, 1948.
- [4] Conn, J.F.C., Ship Resistance-Retrospect and prospect, The 43rd Andrew Laing Lecture, London, 1974.
- [5] Froude, R.E. "On the Constant System of Notation of Results of Experiments on Models Used at the Admiralty Experiment Works", *Trans.I.N.A.* Vol.29, 1888.
- [6] Telfer, E.V., "Ship Resistance Similarity", *Trans,I.N.A.* Vol.69, 1927.
- [7] Telfer, E.V., "Frictional Resistance and Ship Resistance Similarity", *Trans.N.E.C.I.* Vol. 45, 1929.
- [8] Hughes, G., "Friction and Form Resistance in Turbulent Flow, and a Proposed Formulation for Use in Model and Ship Correlation", *Trans.I.N.A.* Vol.96, 1954.
- [9] Netwon, R.N., "Standard Model Technique at Admiralty Experiment Works, Haslar", *Trans.R.I.N.A.* Vol.102, 1960.
- [10] Rouse H., Ince S., History of Hydraulics, Dover Publications Inc., New York, 1957.
- [11] Lewis, E.V., "Principles of Naval Architecture ; Vol. II, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey City, U.S.A., 1988.
- [12] Harvald, Sv.Aa., Resistance and Propulsion of Ships, Wiley-Interscience Publication, New York, 1983.

단체회원 가입을 축하합니다.

## 인하공업전문대학 도서관

대표이사 : 민 경 화  
인천직할시 남구 용현동 253번지  
TEL : (032)870-2091